

ESCENARIOS CLIMÁTICOS REGIONALES PARA ESTUDIOS DE CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICAS EN MÉXICO

Carlos GAY*, Cecilia CONDE*, José Luis PÉREZ*

** Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México*

RESUMEN

Se discuten en este trabajo las técnicas empleadas en diversos estudios en México para crear escenarios regionales de cambio climático y para analizar los posibles impactos del fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur en el país.

Particularmente, se presentan los avances obtenidos en la aplicación de los métodos estadísticos, que permiten estudiar las relaciones que se establecen entre las variables de gran escala y las variables regionales o locales. Mediante ecuaciones de regresión, se utilizan entonces las simulaciones de los modelos de circulación general (MCGs) en condiciones de cambio climático.

Actualmente, se están empleando los modelos MAGICC y SenGen (HULME, 2000) para realizar estudios de país, en el marco de las llamadas Comunicaciones Nacionales, compromiso contraído por los países ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, quienes sugieren el uso de esos modelos para los estudios de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático.

Palabras clave: Cambio Climático, Variabilidad Climática, Reducción de escala, Escenarios Regionales.

ABSTRACT

In this paper we present the techniques applied for generating regional climate scenarios as well as to analyze the impacts of El Niño/ Southern Oscillation in Mexico. In particular, we present the results obtained applying statistical methods, that allow us to study the relationships established between the sea surface temperature (SST) and the regional or local variables. Regression equations are constructed introducing the outputs of General Circulation Models (GCMs) under climate change conditions.

Currently, we are using the model MAGICC and SenGen (HULME, 2000) to develop studies related to the National Communications, a commitment that the countries agreed to accomplish under the United Nations Framework Convention for Climate Change. This organization suggests the use of several models and techniques in the vulnerability and adaptation assessments.

Key Words: Climate Change, Climate Variability, Downscaling, Regional Scenarios.

1. INTRODUCCIÓN

El artículo 2 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático establece que el objetivo último de esta convención es lograr estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero a un nivel que permita prevenir las interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Este nivel se tendría que lograr en un tiempo suficiente tal que se permitiera que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático: se asegurara que la producción de alimentos no esté amenazada y se permitiera que el desarrollo económico sea de manera sostenible (WATSON *et al.*, 1997).

Por otra parte, según OBASI (1996), en la reunión de diciembre de 1995 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se llegó a las siguientes conclusiones básicas:

- El balance de la evidencia sugiere que es discernible la influencia humana en el clima global (Grupo de Trabajo I, WGI)
- El reto no es encontrar la mejor política (para enfrentar al cambio climático) ahora para los próximos 100 años, sino seleccionar una estrategia prudente y ajustarla en el tiempo a la luz de nueva información (Grupo de Trabajo III, WGIII)

A partir de la segunda conclusión, se buscaría además desarrollar una “cartera” de medidas de adaptación y mitigación que permitiera entonces tener la suficiente rapidez y flexibilidad para disminuir los posibles impactos negativos del cambio climático. El gran dilema para desarrollar lo anterior es el contar con los grupos de trabajo nacionales y regionales que permitieran obtener y actualizar no sólo las bases de datos necesarias, sino también las metodologías y modelos aplicables regional o localmente.

Es este marco el que explica el impulso a los llamados “Estudios de País” y en particular el desarrollado en México. Así, este estudio se inició en México en 1994 simultáneamente con otros 50 países. Un reto para estos estudios fue el emplear las mismas metodologías, tal que los resultados fueran comparables e integrables a nivel global. A escala nacional, fue necesario impulsar trabajos interdisciplinarios, que permitieran el flujo de la información en todas direcciones.

En el “Estudio de País: México” (GAY *et al.*, 1996) se analizaron las perspectivas que tendría el país ante un posible cambio climático. Para ello, se generaron diversos escenarios de cambio climático que fueron empleados en los estudios de vulnerabilidad, dentro de las líneas de investigación: agricultura, recursos hídricos, ecosistemas forestales, sequía y desertificación, energía e industria y asentamiento humanos. El estudio también incluyó la construcción de un inventario de gases de efecto invernadero para México.

Este Estudio estuvo coordinado por el Dr. Carlos Gay y en él participaron diez instituciones de investigación y alrededor de 30 investigadores, técnicos y estudiantes, principalmente de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La investigación de los escenarios climáticos fue dirigida por el Dr. Víctor Magaña y los estudios de Vulnerabilidad fueron coordinados por el Dr. Carlos Gay, ambos miembros del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

Parte medular de este trabajo fue la elaboración de escenarios climáticos, actuales y de cambio.

Esto es fundamental para examinar la vulnerabilidad de cualquier sistema y determinar las estrategias de adaptación. La comparación entre las condiciones climáticas actuales y aquéllas que prevalecerían bajo condiciones de cambio, permite identificar y cuantificar el grado de vulnerabilidad de las regiones o sitios en donde el cambio climático sería más adverso (por ejemplo, reducción en los rendimientos agrícolas, disminución en las reservas de agua, etc.).

2. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Los escenarios de cambio climático constituyen una combinación posible de condiciones que se pueden usar para ilustrar eventos futuros. A pesar de que es muy probable que el incremento en los gases de efecto invernadero incrementará la temperatura y precipitación globales, existe incertidumbre en cuanto a las magnitudes y tiempo en que se darán dichos cambios. En el caso de la lluvia, incluso existe incertidumbre en cuanto al signo de dicho cambio en un contexto regional.

Si bien no es posible “predecir” el futuro, se utilizan estos escenarios para evaluar la sensibilidad de los sistemas estudiados al posible cambio climático.

En general, en condiciones de cambio climático, con incrementos en la temperatura de 1.5 a 3 C, se considera que se presentará mayor calentamiento en los continentes que en los océanos y mayor calentamiento en las regiones polares; se espera también una reducción en la diferencia entre la temperatura diurna y la nocturna. También, existe la posibilidad de una alteración del ciclo hidrológico que produzca un aumento en la lluvia y nieve en las latitudes altas y también una disminución en la humedad del suelo, particularmente en verano.

Las condiciones anteriores se obtienen al emplear los modelos físicos más avanzados que existen en la actualidad: los modelos de circulación general (MCGs). En estos modelos se introducen condiciones de un doblamiento de bióxido de carbono, y se obtienen como resultados o salidas los cambios en las variables físicas más determinantes: temperatura, precipitación, radiación.

Para regionalizar los escenarios de cambio climático generados por los MCGs, es necesario establecer criterios basados en principios físicos que relacionen las condiciones de gran escala con el clima regional. En general, esto se logra con esquemas simples de interpolación de las salidas de los MCGs para los experimentos numéricos con condiciones de 1xCO₂ y 2xCO₂. En este trabajo presentamos los cambios regionales para México obtenidos mediante ese método.

En cuanto al escenario base, que describiera las tendencias y condiciones climáticas actuales, fue necesario contar con datos de temperatura y precipitación que fueran comunes, accesibles y confiables para todas las líneas de investigación de vulnerabilidad. Se decidió que estos datos que incluyeran el periodo 1950 a 1980 para 18 regiones del País (figura 1), según se muestra en las tablas 1 y 2. Estos datos fueron procesados por el Dr. Arthur Douglas, de la Universidad de Creighton, Nebraska. La descripción detallada de los criterios para regionalizar y las estaciones seleccionadas para cada región se pueden encontrar en <ftp://hurricane.ncdc.noaa.gov>. La base de datos de Douglas contiene los promedios de temperatura (92 puntos) y precipitación (279 puntos) de más de 30 años.

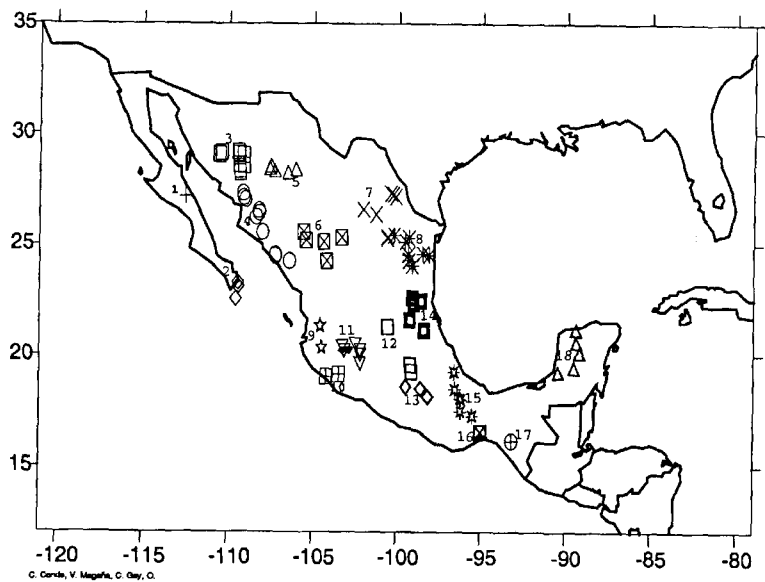


Figura 1: Mapa con las 18 regiones propuestas por A. Douglas. (Magaña, *et al*, 1997)

Tabla 1: TEMPERATURA POR REGIÓN (°C) (1950 - 1980)

| mes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17* | 18 | región |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 1 | 16.0 | 17.0 | 16.2 | 18.2 | 8.0 | 10.8 | 12.3 | 14.9 | 17.3 | 23.7 | 16.2 | 13.5 | 20.0 | 18.4 | 19.9 | 22.9 | 20.6 | 22.8 | |
| 2 | 16.6 | 17.4 | 17.9 | 19.3 | 9.5 | 11.9 | 14.2 | 16.8 | 17.7 | 23.7 | 17.3 | 14.8 | 21.5 | 19.9 | 20.5 | 23.4 | 21.7 | 23.5 | |
| 3 | 17.9 | 19.3 | 19.4 | 21.0 | 12.1 | 14.7 | 18.1 | 20.7 | 19.0 | 23.9 | 19.7 | 17.1 | 24.0 | 23.2 | 23.1 | 25.3 | 24.1 | 25.9 | |
| 4 | 19.5 | 21.9 | 22.6 | 23.8 | 15.9 | 18.0 | 22.1 | 24.6 | 20.9 | 24.8 | 21.9 | 18.5 | 25.5 | 26.3 | 25.5 | 26.5 | 26.0 | 27.5 | |
| 5 | 21.5 | 24.8 | 26.0 | 26.6 | 19.6 | 20.9 | 24.6 | 26.6 | 22.4 | 26.2 | 23.4 | 19.0 | 25.9 | 27.9 | 26.5 | 27.4 | 26.8 | 28.5 | |
| 6 | 24.4 | 28.6 | 30.6 | 30.1 | 23.5 | 23.1 | 26.5 | 28.3 | 23.8 | 27.0 | 22.9 | 18.5 | 24.5 | 28.0 | 25.9 | 26.3 | 25.6 | 28.1 | |
| 7 | 27.9 | 30.8 | 32.5 | 29.9 | 22.8 | 22.3 | 26.9 | 28.7 | 23.3 | 26.9 | 21.3 | 17.5 | 23.5 | 27.4 | 24.8 | 25.4 | 25.0 | 27.6 | |
| 8 | 28.7 | 30.3 | 31.5 | 29.0 | 21.8 | 21.5 | 26.6 | 28.8 | 23.3 | 26.9 | 21.2 | 17.6 | 23.7 | 27.8 | 25.1 | 25.4 | 25.0 | 27.7 | |
| 9 | 27.4 | 29.4 | 30.9 | 28.9 | 20.1 | 20.1 | 24.2 | 26.7 | 23.2 | 26.3 | 21.0 | 17.2 | 22.8 | 26.6 | 24.8 | 25.0 | 24.7 | 27.3 | |
| 10 | 24.2 | 26.5 | 27.0 | 26.6 | 16.4 | 17.2 | 20.5 | 22.9 | 22.3 | 26.4 | 19.9 | 16.2 | 22.5 | 24.4 | 23.5 | 24.6 | 24.3 | 26.0 | |
| 11 | 19.5 | 22.0 | 20.6 | 22.2 | 11.7 | 13.8 | 15.8 | 18.5 | 19.9 | 25.5 | 18.2 | 14.8 | 21.4 | 21.2 | 21.7 | 23.5 | 22.2 | 24.2 | |
| 12 | 16.6 | 18.6 | 17.1 | 19.2 | 8.4 | 11.0 | 13.0 | 15.6 | 18.1 | 24.3 | 16.4 | 13.7 | 20.1 | 18.9 | 20.3 | 23.0 | 20.8 | 22.9 | |

Tabla 2: PRECIPITACIÓN POR REGIÓN (MM/DÍA) (1950 - 1980)

| mes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | región |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|--------|
| 1 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 1.3 | 2.2 | 0.2 | 0.3 | 0.9 | |
| 2 | 0.5 | 0.2 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 1.4 | 2.0 | 0.2 | 0.3 | 0.8 | |
| 3 | 0.3 | 0.0 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.7 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 1.6 | 2.0 | 0.2 | 0.3 | 0.8 | |
| 4 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.6 | 1.5 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.9 | 0.7 | 2.6 | 2.6 | 0.3 | 1.0 | 1.0 | |
| 5 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 1.2 | 2.4 | 0.3 | 0.4 | 1.0 | 1.8 | 2.4 | 4.2 | 5.0 | 1.7 | 2.9 | 2.9 | |
| 6 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 1.4 | 1.6 | 1.6 | 1.5 | 3.2 | 5.6 | 5.0 | 5.0 | 3.5 | 6.5 | 9.9 | 16.5 | 7.8 | 7.4 | 5.3 | |
| 7 | 0.2 | 1.0 | 4.8 | 6.3 | 4.6 | 2.8 | 1.3 | 2.0 | 11.2 | 6.3 | 7.0 | 4.0 | 6.4 | 8.7 | 17.2 | 5.8 | 6.4 | 5.0 | |
| 8 | 0.3 | 2.4 | 4.3 | 7.0 | 4.6 | 3.4 | 1.7 | 3.3 | 11.4 | 6.0 | 6.0 | 3.9 | 6.3 | 7.7 | 15.0 | 6.0 | 6.1 | 5.4 | |
| 9 | 0.4 | 2.7 | 1.9 | 4.0 | 2.9 | 2.6 | 2.3 | 5.6 | 10.6 | 8.1 | 4.8 | 3.6 | 6.5 | 11.4 | 17.2 | 8.6 | 7.7 | 6.8 | |
| 10 | 0.3 | 1.0 | 0.9 | 1.7 | 1.0 | 0.9 | 1.1 | 2.8 | 3.3 | 3.3 | 1.7 | 2.6 | 2.5 | 5.7 | 9.7 | 2.8 | 3.8 | 3.9 | |
| 11 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.5 | 0.9 | 0.6 | 0.7 | 0.4 | 1.0 | 1.3 | 2.9 | 4.7 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | |
| 12 | 0.6 | 0.5 | 0.9 | 1.0 | 0.8 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 1.5 | 2.7 | 0.3 | 0.4 | 1.1 | |

En cuanto a los escenarios de cambio climático, en primer lugar, cada línea de vulnerabilidad aplicó los escenarios incrementales propuestos a nivel regional o local, a fin de realizar estudios de sensibilidad del sistema estudiado a cambios climáticos arbitrarios. Para ello, se aplicaron incrementos arbitrarios de temperatura y precipitación (+2, +4 y $\pm 10\%$, $\pm 20\%$, respectivamente) y combinaciones de ellos (por ejemplo, +2 para la temperatura y $\pm 10\%$ para la precipitación).

Un segundo método (ver tabla 3) para los escenarios de cambio se basó en usar las salidas de dos MCG: el GFDL (modelo del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) y el CCCM (modelo del Canadian Climate Center).

Todas las líneas de vulnerabilidad (excepto zonas costeras) aplicaron la interpolación de las variaciones de temperatura y precipitación simuladas por el GFDL-R30 y el CCCM.

Tabla 3: DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, DE ACUERDO CON
LOS MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL

| MÉTODOS | ESCENARIO CAMBIO CLIMÁTICO MCG | VARIABLES CLIMÁTICAS | RANGOS DE VARIACIÓN |
|------------------|--|---|---|
| I) INTERPOLACIÓN | CCCM (1989): 3.75°x3.75° 10 niveles | T (°C)med max, min Pcp (mm) S (hrs sol) | ΔT (°C) (media anual) ΔPcp (%) (media anual) Método I: CCCM: $1.5^{\circ}C < \Delta T < 3.5^{\circ}C$ $\Delta Pcp < 0$ $-20\% < \Delta Pcp < -10\%$ |
| II) ESTADÍSTICOS | GFDLR30 (1994): 2.22°x3.75 14 niveles GFDLR30 (1994) NCAR (1994) | diarios mensuales estacionales anuales | GFDLR30: $2.5^{\circ}C < \Delta T < 4.5^{\circ}C$ $\Delta Pcp > 0$ $10\% < \Delta Pcp < 20\%$ Método II: GFDLR30: $1.5^{\circ}C < \Delta T < 2.5^{\circ}C$ $\Delta Pcp > 0$ NCAR $1.5^{\circ}C < \Delta T < 2.5^{\circ}C$ |

Dependiendo de la línea de investigación de Vulnerabilidad, para la generación de los escenarios base se utilizaron datos diarios, mensuales, estacionales o anuales, o bien datos de más o menos estaciones de la base de Douglas. Sin embargo, el método empleado en todos los casos fue el de sumar a la temperatura base las cantidades dadas por los modelos. Para la precipitación, se multiplica la del escenario base por las cantidades dadas por los modelos. Para la radiación se procede de manera análoga que la precipitación.

3. MÉTODO ESTADÍSTICO

Para interpretar los resultados de los MCG a escala regional se propuso como método alternativo el uso de análogos y modelos estadísticos para asociar patrones de circulación de gran escala con el clima local (MAGAÑA, 1994).

En el estudio de las anomalías de temperatura y precipitación se emplearon las salidas de los modelos acoplados NCAR y el GFDL. Para mejorar el estudio regional, se emplearon las corridas de control y de doblamiento de CO₂ obtenidas a través de INTERNET (<ftp.dkrz.de>), para los modelos citados. Se realizó primero un análisis estadístico del comportamiento de las variables locales de interés (temperatura y precipitación) frente a variables de gran escala observadas: presión a nivel de mar (SLP), temperatura de superficie del océano (SST), temperatura en 500 y 700 mb (t500 y t700) y altura geopotencial en 500 y 700 mb (z500 y z700) (PÉREZ, 1997).

Los escenarios regionales de temperatura y de precipitación fueron elaborados estableciendo ecuaciones de regresión entre las series de tiempo de temperatura (o precipitación) de cada una de las 18 regiones de Douglas (ver, por ejemplo, figura 2) tomada como variable dependiente, y los patrones de gran escala de SLP y SST, en 2 puntos distintos con correlación extrema (en total 4 variables independientes) para un periodo que abarca de 1947 a 1987.

Actualmente, diversos países están empleando los modelos MAGICC/SENGEN para generar múltiples combinaciones de escenarios de emisiones y sensibilidades climáticas con las salidas de por lo menos catorce GCM. El MAGICC es un modelo climático simple (según definición de HARVEY *et al.*, 1997) que permite evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero y de dióxido de azufre ante diversas condiciones socioeconómicas globales. En el MAGICC también se considera la incertidumbre en el aumento de la temperatura global, asociada a las complejas respuestas que se dan en el sistema climático y que no pueden modelarse totalmente; así, el IPCC propone tres valores para la *sensibilidad climática*: 1.5°C, 2.5°C y 4.5°C.

El SENGEN permite generar escenarios climáticos globales. En él se encuentran las salidas de catorce modelos de circulación general (MCG) que, en una rejilla de 5 x 5, proponen los posibles cambios (con respecto a 1960 – 1990) en la temperatura, en la precipitación y en la cubierta nubosa (mensual, estacional o anual) asociados a los aumentos de gases de efecto invernadero obtenidos con el MAGICC. La base de datos del SENGEN puede entonces emplearse para construir los escenarios de cambio climático en la región de estudio.

Aún no está plenamente aceptado un único método para bajar de escala esas salidas de los MCG (*downscaling*) a nivel regional, nacional o local, con el fin de realizar estudios de vulnerabilidad y adaptación, tema central en la actualidad, particularmente para los países del tercer mundo.

4. CONCLUSIÓN

En vista de que el MAGICC-SENGEN permite generar escenarios de cambio climático con diferentes concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero de una manera sencilla, es posible construir bajo ciertas suposiciones acerca de la evolución global de las emisiones de efecto invernadero una posible evolución del clima mismo. Esta sucesión de escenarios por su parte

permitiría que las estrategias de adaptación se pudieran analizar con resolución temporal facilitando la labor de los planeadores y tomadores de decisiones. Sin embargo para que los escenarios sean mas útiles es necesario que sean relevantes regional o localmente y para esto es necesario hacer la reducción de escala. Es nuestra intención aplicar los métodos que ya fueron ensayados con éxito a las salidas del MAGGIC-SENGEN.

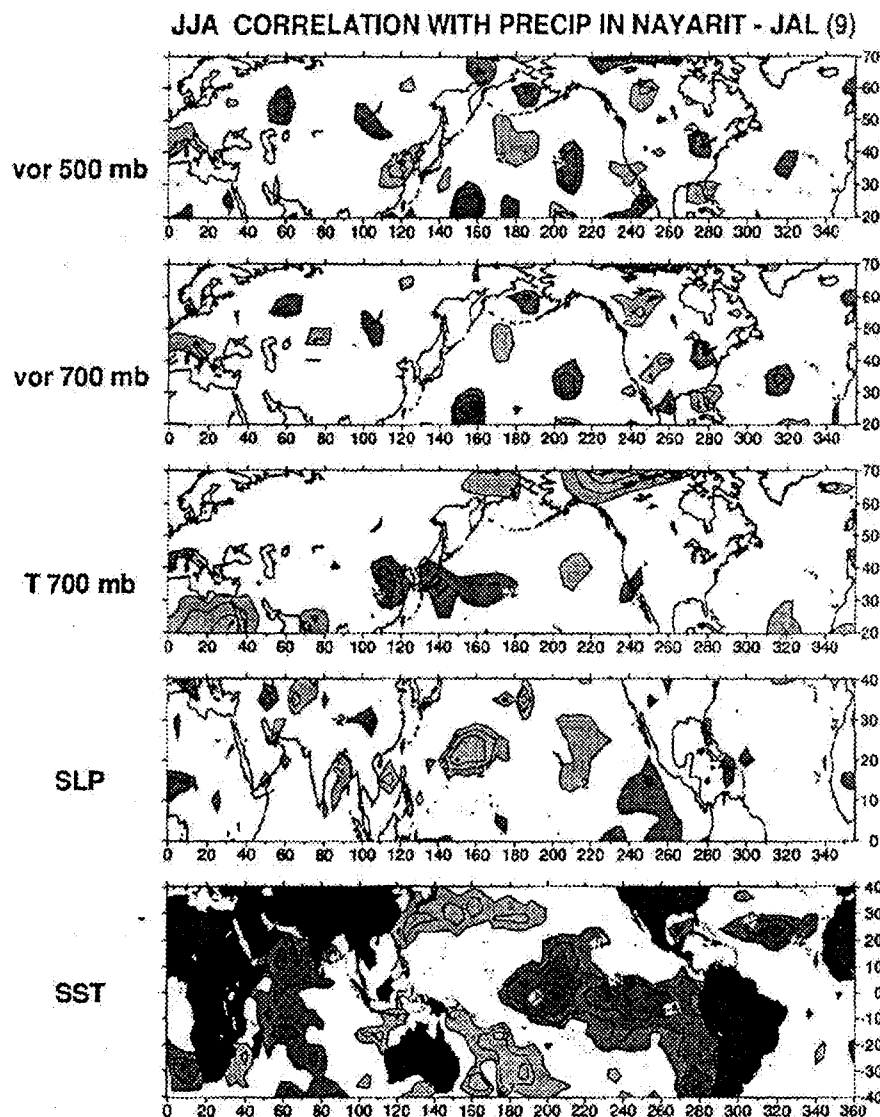


Figura 2. Correlaciones para la región 9 de Douglas, para el verano (JJA).

5. REFERENCIAS

- GAY, C., RUIZ, L.G., IMAZ, M., CONDE, C. y MAR B. (edit.) (1996): "Memorias del Segundo Taller de 'Estudio de País: México'". En *"México ante el Cambio Climático"*, 1st Workshop Country Study, Cuernavaca, Morelos, 8 a 11 mayo, 1995.
- HARVEY, D.; GREGORY, J.M., HOFFERT, M., JAIN, A., LAL, M., LEEMANS, R., RAPER, S., WIGLEY, T.M.L. y DE WOLDE, J. (1997): *"An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report"*. IPCC Technical Paper II, Inter-governmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 47 pp.
- HULME, M., WIGLEY, T.M.L., BARROW, E.M., RAPER, S.C.B., CENTELLA, A., SMITH, S. y CHIAPANSHI, A.C. (2000): *"Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: Magicc and ScenGen"*. Versión 2.4, Workbook, Climatic Research Unit, Norwich, UK, 52 pp.
- MAGAÑA, V. (1994): "A strategy to determine regional climate change". En *"México ante el Cambio Climático"*, 1st Workshop Country Study: Mexico, Cuernavaca, Morelos, México, pp. 45-51.
- MAGAÑA, V., CONDE, C. SÁNCHEZ, O. y GAY, C.. (1997): "Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico". *Clim. Res.* 9(2), pp. 107-114.
- OBASI, G.O.P. (1996): "Foreword". *World Climate News*, 9. p. 3. WMO. Ginebra, Suiza.
- PÉREZ, J. L. (1997): *"Cambio Climático Regional en México"*. Tesis para obtener el título de físico, Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- WATSON, R.T., ZINYOWERA, M.C., MOSS, R.H. y DOKKEN, J. (1997): "Informe especial del IPCC". En *"Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad"*, PNUMA, OMM, 16 pp.